

II. PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES

Usaha produksi dalam pabrik kimia membutuhkan berbagai sistem pemroses yang dirangkai dalam suatu sistem proses produksi yang disebut teknologi proses. Secara garis besar, unit-unit proses dari sebuah pabrik kimia adalah reaksi kimia, unit pemisahan dan unit pemurnian. Proses perubahan bahan baku menjadi produk terjadi dalam reaksi kimia. Unit pemroses utama dalam reaksi adalah reaktor. Unit pemisahan dan unit pemurnian bertujuan agar hasil dari unit reaksi sesuai dengan permintaan pasar sehingga layak dijual.

Demikian halnya dengan pabrik sodium styrene sulfonat, yang unit proses pemisahan, pemurnian dan kondisi operasi yang terlibat dijelaskan sebagai berikut.

A. Jenis-jenis Proses

Proses pembuatan sodium styrene sulfonat ada dua macam, yaitu:

1. Sulfonasi SO_3

2-Bromo Ethyl Benzene ($\text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}$) dan Methylen Chlorida (CH_2Cl_2) dipompa masuk ke dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Sulfur Trioksida yang mengandung Boron sebanyak 5 % dipompa ke dalam alat destilasi dan uap SO_3 yang sudah bebas Boron dimasukkan ke dalam

RATB tempat terjadinya reaksi sulfonasi. Proses sulfonasi berlangsung pada kisaran suhu $-20-80^{\circ}\text{C}$. Proses ini menghasilkan konversi sebesar 90%. Setelah ditambahkan inhibitor 10 % larutan sodium styrene sulfonat (Yield 85%), dikrisrtalisasi. Analisis hasil akhir Sodium Styrene Sulfonat 95%-98 % dan air 2% - 5%.

2. Sulfonasi H_2SO_4

Pada sulfonasi H_2SO_4 , asam sulfat yang digunakan adalah H_2SO_4 98 %.

2-Bromo Ethyl Benzene ($\text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}$) dan Methylene Chloride (CH_2Cl_2) dioperasikan dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Reaksi terjadi pada suhu yang rendah antara $30-55^{\circ}\text{C}$. Proses ini menghasilkan konversi 55-65%, dengan kemurnian 70 % dan yield sebesar 85%. (Goodshaw, C.T., 1963)

B. Pemilihan Proses

Pemilihan proses dilakukan dengan membandingkan keuntungan dan kerugian semua proses pembuatan sodium styrene sulfonat yang telah diuraikan di atas sebagai berikut:

Tabel 2.1. Perbandingan proses pembuatan sodium styrene sulfonat

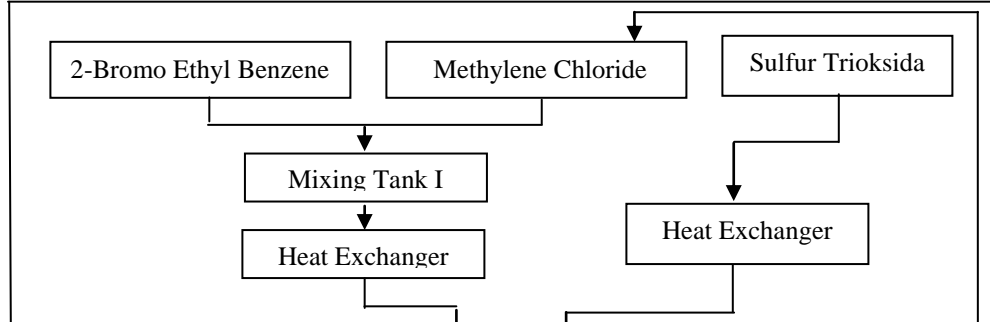
No	Keterangan	Jenis Proses	
		Sulfonasi SO_3	Sulfonasi H_2SO_4
1	Kondisi Operasi	1 atm, $-20-80^{\circ}\text{C}$	1 atm, $30-55^{\circ}\text{C}$
2	Kemurnian	95%-98%	70%
3	Yield	85%	85%
4	Konversi	Reaktor I : 90 %	55-65 %
5	ΔG_{Reaksi}	- 22995 Btu/lbmol	- 24167 Btu/lbmol

Pemilihan proses dilakukan dengan membandingkan keuntungan dan kerugian semua proses pembuatan sodium styrene sulfonat yang telah diuraikan di atas. Berdasarkan dua metode proses produksi tersebut, maka dipilih menggunakan metode proses yang pertama yaitu proses produksi Sodium Styrene Sulfonat dengan menggunakan metode *Sulfonasi SO₃ Preparation*, karena pertimbangan konversi dan kemurnian Sodium Styrene Sulfonat yang dihasilkan lebih besar dari metode proses yang kedua.

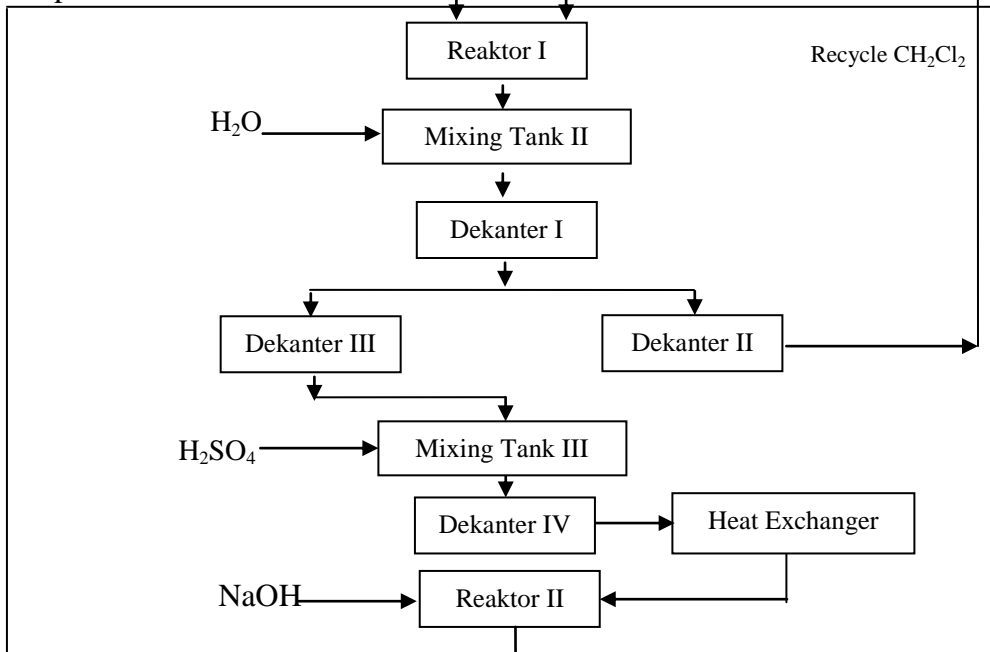
C. Uraian Proses

Proses pembuatan Sodium Styrene Sulfonat dari 2-Bromo Ethyl benzene dengan proses *Sulfonasi SO₃* dapat dilihat pada diagram alir berikut :

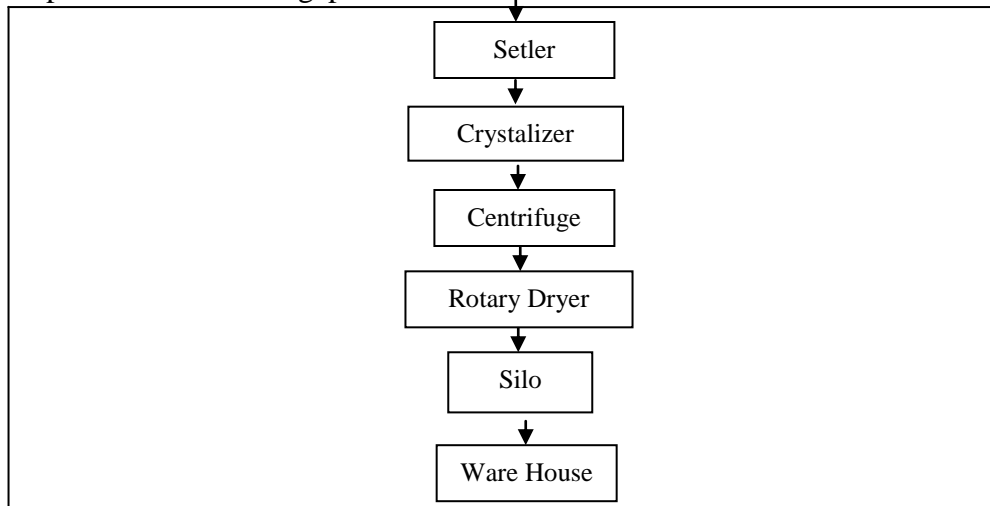
❖ Tahap Penyiapan Bahan Baku



❖ Tahap Pembentukan Produk



❖ Tahap Pemurnian & Pengepakan Produk



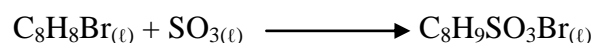
Mula-mula 2-Bromo Ethyl benzene dari tangki penyimpanan dilarutkan dengan Methylene Chloride yang berasal dari tangki penyimpanan di dalam Mixing Tank I dengan tujuan untuk melarutkan 2-Bromo Ethyl benzene, kemudian 2 Bromo Ethyl benzene dan Methylene Chloride yang keluar dari Mixing Tank I dan SO_3 yang keluar dari tangki penyimpan dipompa menuju reaktor I. Kondisi reaksi pada reaktor adalah pada suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$, tekanan 1 atm , dan konversi 90% terhadap $\text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}$. Sulfur Trioksida yang digunakan dalam proses sulfonasi pada reaktor tidak hanya mensulfonasi 2-Bromo Ethyl benzene tapi juga mengakibatkan terjadinya reaksi samping. Reaksi samping ini biasanya terjadi pada suhu diatas $50\text{ }^\circ\text{C}$, karena alasan tersebut di atas maka dalam proses ini reaksi sulfonasi biasanya dilakukan pada kisaran suhu antara $-10\text{ }^\circ\text{C}$ - $50\text{ }^\circ\text{C}$.

Reaktor yang dipakai adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk yang dilengkapi dengan pendingin karena reaksi bersifat eksotermis yaitu dengan nilai $\Delta H_{\text{Reaksi}} = -6,533\text{ kkal/gmol}$, sehingga untuk menjaga suhu agar selalu konstan maka pada reaktor I dilengkapi dengan sistem pendingin.

Nilai k pada reaktor I sebesar $637,889\text{ m}^3/\text{kmol}\cdot\text{jam}$

Dimana : k = konstanta kecepatan reaksi kimia

Reaksi Pada Reaktor I :

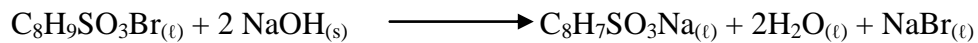


Hasil reaksi dari Reaktor I dipompa ke Mixing Tank II dan ditambahkan H_2O , untuk merubah SO_3 menjadi H_2SO_4 pekat. Hasil dari tangki pencampur dipompa

ke dekanter I kemudian dipisahkan, hasil atas berupa fraksi ringan dari dekanter I dipompa masuk ke dekanter II, sedangkan hasil bawah berupa fraksi berat dari dekanter I menuju dekanter III. Di dalam dekanter II terjadi pemisahan untuk memisahkan CH_2Cl_2 yang akan di recycle ke tangki bahan baku CH_2Cl_2 dan dipisahkan dari komponen lain yang tidak diinginkan untuk dikirim ke unit pengolahan limbah (UPL). Hasil atas dekanter III masih mengandung komponen $\text{C}_8\text{H}_9\text{Br}$ yang tidak diinginkan kemudian dicampur dengan H_2SO_4 pekat di dalam Mixing Tank III untuk mengikat $\text{C}_8\text{H}_9\text{Br}$ yang masih ada. Keluaran Mixing Tank III kemudian dipompa menuju dekanter IV untuk memisahkan $\text{C}_8\text{H}_9\text{Br}$ dengan $\text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}$ yang akan di reaksikan di dalam Reaktor II.

Nilai k pada Reaktor II sebesar $1,0382 \text{ m}^3/\text{kmol} \cdot \text{jam}$

Reaksi Pada Reaktor II :



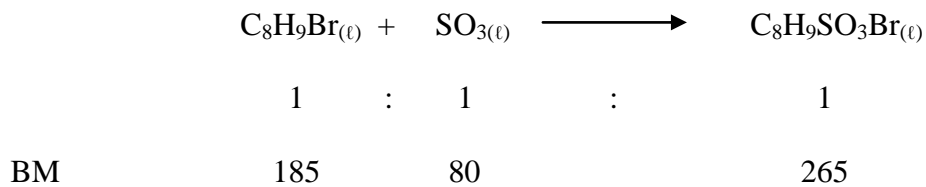
Reaktor yang dipakai adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk yang dilengkapi dengan pemanas karena reaksi bersifat endotermis dengan nilai $\Delta H_{\text{Reaksi}} = 3417$ kkal/gmol. Kondisi reaksi pada reaktor yang kedua adalah pada suhu 75°C , tekanan 1 atm, dan konversi 80 %.

Kemudian hasil dari Reaktor II dipompa ke dalam settler. Hasil dari Reaktor II dipompa ke settler untuk memisahkan antara sodium styrene sulfonat dengan komponen lain. Selanjutnya hasil bawah dari settler berupa slurry $\text{C}_8\text{H}_7\text{SO}_3\text{Na}$ akan dikristalkan di dalam *crystallizer*. Keluaran *crystallizer* berupa Kristal dan

mother liquor, kemudian *mother liquor* akan dikembalikan sebagai umpan *crystallizer*, sedangkan kristal akan dikeringkan di dalam *Rotary Dryer* sampai kemurnian 98% sesuai dengan kebutuhan pasar.

D. Kelayakan Ekonomi

Reaksi Pada Reaktor I :



Produk yang terbentuk pada reaksi diatas adalah $\text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}$. Jika pada reaksi tersebut $\text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}$ yang terbentuk sebanyak 1 kilogram, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Mol } \text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br} \text{ yang terbentuk} &= 1000\text{g } \text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br} \times \left[\frac{1 \text{ mol } \text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}}{265 \text{ g } \text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}} \right] \\
 &= 3,7735 \text{ mol } \text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perbandingan stoikiometri, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Mol } \text{C}_8\text{H}_9\text{Br} \text{ yang bereaksi} &= 3,7735 \text{ mol } \text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br} \times \left[\frac{1 \text{ mol } \text{C}_8\text{H}_9\text{Br}}{1 \text{ mol } \text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}} \right] \\
 &= 3,7735 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } \text{C}_8\text{H}_9\text{Br} \text{ yang bereaksi} &= 3,7735 \text{ mol} \times 185 \text{ g/mol} \\
 &= 698,0975 \text{ g} \\
 &= 0,6980975 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{➤ Mol } SO_3 \text{ yang bereaksi} = 3,7735 \text{ mol } C_8H_9SO_3Br \times \left[\frac{1 \text{ mol } SO_3}{1 \text{ mol } C_8H_9SO_3Br} \right]$$

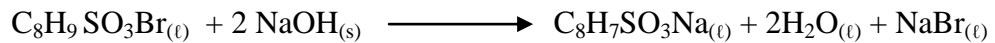
$$= 3,7735 \text{ mol}$$

$$\text{Massa } SO_3 \text{ yang bereaksi} = 3,7735 \text{ mol} \times 80 \text{ g/mol}$$

$$= 301,88 \text{ g}$$

$$= 0,30188 \text{ kg}$$

Reaksi Pada Reaktor II :



Produk yang terbentuk pada reaksi diatas adalah $C_8H_7SO_3Na$. Jika pada reaksi tersebut $C_8H_7SO_3Na$ yang terbentuk sebanyak 1 kilogram, maka :

$$\text{Mol } C_8H_7SO_3Na \text{ yang terbentuk} = 1000 \text{g } C_8H_7SO_3Na \times \left[\frac{1 \text{ mol } C_8H_7SO_3Na}{206 \text{ g } C_8H_7SO_3Na} \right]$$

$$= 4,8543 \text{ mol } C_8H_7SO_3Na$$

Berdasarkan perbandingan stoikiometri, maka :

$$\text{➤ Mol } C_8H_9SO_3Br \text{ yang bereaksi} = 4,8543 \text{ mol } C_8H_7SO_3Na \times \left[\frac{1 \text{ mol } C_8H_9SO_3Br}{1 \text{ mol } C_8H_7SO_3Na} \right]$$

$$= 4,8543 \text{ mol}$$

$$\text{Massa } C_8H_9SO_3Br \text{ yang bereaksi} = 4,8543 \text{ mol} \times 265 \text{g/mol}$$

$$= 1286,3895 \text{ g}$$

$$= 1,2863895 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ Mol NaOH yang bereaksi} &= 4,8543 \text{ mol } C_8H_7SO_3Na \times \left[\frac{2 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol } C_8H_7SO_3Na} \right] \\ &= 9,7086 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH yang bereaksi} &= 9,7086 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol} \\ &= 388,344 \text{ gram} \\ &= 0,388344 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari perhitungan reaksi I, untuk membentuk 1 kg $C_8H_9SO_3Br$, diperlukan C_8H_9Br sebanyak 0,6980975 kg dan SO_3 sebanyak 0,30188 kg. Perhitungan reaksi II, untuk membentuk 1 kg $C_8H_7SO_3Na$ diperlukan $C_8H_9SO_3Br$ sebanyak 1,2863895 kg dan NaOH sebanyak 0,388344 kg.

Harga :

$$\begin{aligned} C_8H_9Br &= \text{Rp. } 7.050/\text{kg} \\ SO_3 &= \text{Rp. } 1.775/\text{kg} \\ C_8H_7SO_3Na &= \text{Rp. } 41.731/\text{kg} \end{aligned}$$

Jadi untuk menghasilkan 1 kg $C_8H_7SO_3Na$ dibutuhkan biaya bahan baku sebesar :

$$\begin{aligned} C_8H_9Br &= \text{Rp. } 7.050/\text{kg} \times 0,6980975 \text{ kg} = \text{Rp. } 4.921 \\ SO_3 &= \text{Rp. } 1.775/\text{kg} \times 0,30188 \text{ kg} = \text{Rp. } 535 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi selisih harga} &= \text{harga produk} - \text{harga bahan baku} \\ &= \text{Rp. } 41.731 - (\text{Rp. } 4.921 + \text{Rp. } 535) \\ &= \text{Rp. } 36.275 \end{aligned}$$

E. Kelayakan Teknik

Biasanya kelayakan teknik terhadap suatu reaksi kimia yang di tinjau adalah energi bebas gibbs (ΔG). Untuk reaksi isothermal :

$$\Delta G_R = \Delta H_R - T \Delta S_R$$

$$\Delta G_{\text{Reaksi}} = \sum \Delta G^{\circ}_f \text{ Produk} - \sum \Delta G^{\circ}_f \text{ Reaktan}$$



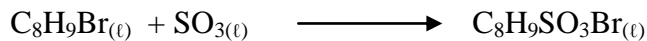
2-Bromo ethyl benzene Sulfur trioxide 2-Bromo ethyl benzene sulfonat

$\text{C}_8\text{H}_9\text{Br}_{(l)} + \text{SO}_{3(l)} \longrightarrow \text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}_{(l)}$			
	$\text{C}_8\text{H}_9\text{Br}$	SO_3	$\text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}$
Pada 298 K			
ΔG°_f Btu/lbmol	-448987	- 129281	-435307

$\text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}_{(l)} + 2 \text{NaOH}_{(s)} \longrightarrow \text{C}_8\text{H}_7\text{SO}_3\text{Na}_{(l)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{NaBr}_{(l)}$				
	$\text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}$	NaOH	$\text{C}_8\text{H}_7\text{SO}_3\text{Na}$	NaBr
Pada 298 K				
ΔG°_f Btu/lbmol	- 331207	- 117281	-235207	-29837

Perubahan entalpi, entropi, dan energi Gibb dapat dihitung masing-masing proses:

Reaksi Pada Reaktor I :

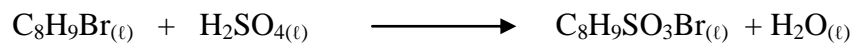


$$\Delta G_{\text{Reaksi}} = \Delta G^{\circ}_f \text{C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br} - \Delta G^{\circ}_f \text{C}_8\text{H}_9\text{Br} - \Delta G^{\circ}_f \text{SO}_3$$

Pada 298 K

$$\begin{aligned}\Delta G_{\text{Reaksi}} &= \Delta G_{\text{f C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}}^{\circ} - \Delta G_{\text{f C}_8\text{H}_9\text{Br}}^{\circ} - \Delta G_{\text{f SO}_3}^{\circ} \\ &= (-435307) - (-448987) - (-129281) \\ &= -22.995 \text{ Btu/lbmol}\end{aligned}$$

Reaksi Pada Reaktor II :



$$\Delta G_{\text{Reaksi}} = \Delta G_{\text{f C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}}^{\circ} - \Delta G_{\text{f C}_8\text{H}_9\text{Br}}^{\circ} - \Delta G_{\text{f SO}_3}^{\circ} - \Delta G_{\text{f H}_2\text{O}}^{\circ}$$

Pada 298 K

$$\begin{aligned}\Delta G_{\text{Reaksi}} &= \Delta G_{\text{f C}_8\text{H}_9\text{SO}_3\text{Br}}^{\circ} - \Delta G_{\text{f C}_8\text{H}_9\text{Br}}^{\circ} - \Delta G_{\text{f SO}_3}^{\circ} \\ &= (-435307) - (-1172) - (-448987) - (-129281) \\ &= -24167 \text{ Btu/lbmol}\end{aligned}$$